

## 明 細 書

### 光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法及びその装置

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法及びその装置に関する。
- [0002] 文献の参照による組み込みが認められる指定国については、下記の出願に記載された内容を参照により本出願に組み込み、本出願の記載の一部とする。

特願2004-84718 出願日 平成16年3月23日

特願2005-10585 出願日 平成17年1月18日

#### 背景技術

- [0003] 近年、光通信の長距離化や高速化を制限する要因として、偏波モード分散 (Polarization Mode Dispersion、以下、PMDと称する) の影響が注目されている。PMDとは、互いに直交する偏波面を持つ2つのモードがファイバ中を僅かに異なる速度で伝播することにより、入射されたパルスの幅がファイバ中を伝播するにつれて広がっていく現象を指している。
- [0004] 通常のシングルモード光ファイバは、コア部とその外周に該コア部よりも屈折率の低いクラッド部を有しており、入射した光は、ほぼコア部に閉じ込められるようにして進む。コア部が完全に真円である場合、この2つのモードは縮退していて区別することはできないが、コア部が真円でなかったり、光ファイバあるいは光ケーブルを作製する段階でコア部に歪が加わったりして対称性が崩れると、光ファイバ中を伝播する、2つのモードの速度に差を生じ、PMDを生じる。
- [0005] PMDの影響が大きくなると、光通信において異なる信号光パルスの一部が重なり合うようになり、ときには信号光パルスの検出が不可能になる。従って、特にPMD特性が厳しく要求されるような場合には、光ファイバコア部の非円率を厳密に管理することが重要となる。
- [0006] 光ファイバのコア部の非円率は、例えば、Near Field Image法によって測定することができる。しかしながら、シングルモード光ファイバのコア部の直径はせいぜい10  $\mu$ m程度と非常に小さいため、測定精度に欠けるうえに、光ファイバをカットしたときの測

定面の状態にも影響されやすい。従って、コア部の非円率は、光ファイバ用プリフォーム(以下、単にプリフォームと称する)の段階でも測定されていることが望ましい。

- [0007] プリフォームの非円率は、例えば、レーザー外径測定器を用いて、プリフォームを回転させながら複数の方向から外径を測定し、得られた外径データの最大値と最小値の差を平均値で除することにより、非円率を求めることができる。その他に、最小自乗法などを用いて楕円の式を計算し、長軸と短軸の長さ、及びそれらの平均値から非円率を求めることもできる。

しかしながら、プリフォームのコア部の非円率は、通常、コア部がクラッド部の一部と一体で合成されるため、上記の方法で測定することは不可能である。

- [0008] 特許文献1は、図1に示すように、クラッド部と屈折率の略等しい液体で満たされた容器1を貫通するように光ファイバ母材2を水平に配置し、光ファイバ母材2の側面に光源部3から平行光を照射し、透過した光を受光部4で受光して得た撮像の光強度分布に基づいてコア部非円率を求める方法を提案している。この方法は、光強度分布の明部の幅を測定してコア径相対値を求め、これからコア部非円率を求めるものである。

特許文献1:特開2003-42894号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0009] しかしながら、コアによって集光される明部を認識してコア部非円率を求める特許文献1の方法は、容器1内のマッチングオイル(クラッド部と屈折率の略等しい液体)が光ファイバ母材2の挿通部から洩れないように、容器1の挿通部は、弾性を有するパッキン材でシールされているが、それでも光ファイバ母材2の長手方向に複数点測定する際に、容器1を相対移動させると、マッチングオイルが漏洩することがある。
- [0010] さらに、特許文献1の方法は、図2に示すように、コア5/クラッド6の屈折率差及び投光器3/受光器4の間隔によっては、コアによって集光される明部の幅aを示す境界が不鮮明になり、明部の幅の検出が困難もしくは不可能な場合がある。

また、特許文献1の請求項2及び図3で説明されている方法で算出される値は、楕円形状に基づく非円率とは異なるものを示している。なぜなら、楕円を360度回転させ

た場合には、太径部及び細径部がそれぞれ2回ずつ観測されるためである。特許文献1の請求項2及び図3においては、太径部及び細径部がそれぞれ1回ずつしか観測されていない。

- [0011] 本発明は、上記課題に鑑み、コア／クラッドの屈折率差及び投光器／受光器の間隔によらずに、常に、コア部非円率を正確かつ容易に測定することのできる、光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法及びその装置を提供することを目的としている。

#### 課題を解決するための手段

- [0012] 本発明のコア部非円率の測定方法は、コア部及びクラッド部を有する光ファイバ母材のコア部非円率を測定する方法であって、該光ファイバ母材のクラッド部と屈折率が略等しい液体中に光ファイバ母材を浸漬し、該光ファイバ母材の側面から平行光を照射して透過光の強度分布を測定し、コア部を通過した光によって強度分布に生じた暗部の幅を測定してコア径相対値を求め、さらに光ファイバ母材を回転させて周方向の複数点でコア径相対値を求め、得られた複数のコア径相対値に基づいてコア部非円率を求めることを特徴としている。

- [0013] 本発明においては、コア部を通過した光によって生じた暗部の幅は、検出閾値の調整できる平行光投光型外径測定器(例えば、キーエンス社製LS-7500)を用いて測定するのが好ましい。

コア部非円率は、複数の周方向 $\phi$ から測定したコア径相対値 $D_c(\phi)$ の最大値と最小値の差をコア径相対値 $D_c(\phi)$ の平均値で除することによるか、あるいは、 $D_c(\phi)$ と $\phi$ を、 $D_c(\phi) = A + B \sin 2\phi$ にフィッティングして得られるA及びBを用いて、 $2B/A$ を計算して求められる。前者は、測定値から考えられ得る最大の非円率を示し、後者は、楕円成分のみを抽出した非円率となっている。

- [0014] 後者の計算には、フーリエ解析または高速フーリエ解析を用いることができる。フーリエ解析または高速フーリエ解析を用いるメリットは、低次成分( $\sin \phi$ の成分)や高次成分( $\sin 3\phi$ ,  $\sin 4\phi$ ,  $\sin 5\phi$ , ...)を完全に除去したフィッティング結果を、計算のみで容易に求めることができることにある。

コア部非円率の測定は、光ファイバ母材を鉛直に配置して行い、液体を収容する容器の少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分は

、クラッド部と屈折率が略等しい材質、好ましくはクラッド部と同じ材質で構成される。

- [0015] 液体を収容する容器は、少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分に相対する平行な外表面を有する。さらに、該容器の中央に円筒状の穴が設けられ、容器の相対する平行な外表面及び円筒状の穴の内表面が鏡面研磨されているのが好ましい。

容器内の液体の温度及びコア部非円率測定装置の設置された雰囲気の温度は、ほぼ一定に調節される。

- [0016] 本発明の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置は、コア部及びクラッド部を有する光ファイバ母材のコア部非円率を測定する装置であって、該光ファイバ母材のクラッド部と屈折率が略等しい液体中に光ファイバ母材を浸漬する手段と、該液体中に浸漬された光ファイバ母材の側面に向けて平行光を照射する手段と、光ファイバ母材を透過した透過光の強度分布を測定する手段と、該強度分布においてコア部を通過した光によって生じた暗部の幅を測定してコア径相対値を求める手段と、該コア径相対値を光ファイバ母材の周方向複数点で測定するため光ファイバ母材を回転させる手段とを有し、複数のコア径相対値に基づいてコア部非円率を求めることを特徴としている。

- [0017] 本発明によるコア部非円率の測定装置は、光ファイバ母材を鉛直に支持する手段を有し、液体を収容する容器の少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分は、クラッド部と屈折率が略等しい材質、好ましくは同じ材質で構成されている。また、容器の少なくとも照射光及び透過光の通る部分は、相対する平行な外表面を有し、好ましくはその中央には円筒状の穴が設けられ、これら外表面及び円筒状の穴の内表面は、鏡面研磨されている。

コア径相対値を求める手段には、検出閾値の調整できる平行光投光型外径測定器やプリフォームアナライザ(屈折率分布測定器)を用いることができる。各手段の制御及び演算処理は、制御・演算装置で行う。本測定システムをプリフォームアナライザに組み込むことで、屈折率分布とコア部非円率の測定を同じ装置で行うことができ、効果的である。

発明の効果

[0018] 本発明による光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法及びその装置によれば、光ファイバ母材のコア部非円率を正確かつ容易に測定することができる。

#### 図面の簡単な説明

[0019] [図1]従来技術によるコア非円率の測定方法を説明する概略図である。

[図2]従来技術による光強度分布を説明する概略図である。

[図3]本発明で使用したコア非円率の測定装置を示す概略図である。

[図4]本発明で使用したコア非円率の測定装置の光学測定部を説明する概略図である。

[図5]本発明による光強度分布を説明する概略図である。

[図6]本発明による光強度分布を説明する概略図である。

[図7]本発明による測定装置の光学系の他の例を説明する概略図である。

[図8]本発明による測定装置の光学系について、さらに他の例を説明する概略図である。

[図9]複数の周方向  $\phi$  から光強度分布の暗部を測定し、コア径相対値  $D(\phi)$  を求めた例を示すグラフである。

#### 符号の説明

- [0020] 1……容器、  
2……光ファイバ母材、  
3……投光器、  
4……受光器、  
5……コア、  
6……クラッド、  
7……吊下げ部、  
8……マッチングオイル、  
9……セル、  
10……オイルタンク、  
11……光照射部、  
12……光検出部、

- 13……レーザー光(LED拡散光)、
- 14……円筒状の穴、
- 15……プリフォームアナライザ用レーザー光源、
- 16……プリフォームアナライザ用受光器、
- 17……コア部非円率測定用投光器、
- 18……コア部非円率測定用受光器。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0021] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではなく、また実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

[0022] 本発明のコア部非円率の測定方法は、光ファイバ母材の側面から平行光を照射し、光ファイバ母材の複数の周方向 $\phi$ で光強度分布の暗部を測定してコア径相対値 $D_c(\phi)$ を求め、コア径相対値の最大値と最小値の差をコア径相対値の平均値で除するか、あるいは、 $D_c(\phi)$ と $\phi$ を、 $D_c(\phi) = A + B \sin 2\phi$ にフィッティングして得られるA及びBを用いて、 $2B/A$ を計算してコア部非円率を求めるものであり、光強度分布は、検出閾値の調整可能な平行光投光型外径測定器を用いて測定することができる。

光強度分布は、図5に示すように、光ファイバ母材に平行光を照射すると、クラッド6を透過した光は直進し、屈折率の高いコア5を透過した光は収斂する。このため受光面では、クラッド部とコア部の境界で明部aと暗部bを生じる。

[0023] しかしながら、コア／クラッドの屈折率差が大きい場合や、受光器がより後方にある場合、焦点位置が受光器より手前になり、図2で説明したように、明部aの輪郭が不鮮明になったり、全く認識できない場合がある。

そこで、明部aの輪郭が不鮮明な場合でも、図6に示す暗部bの幅を用いてコア部の相対径を認識すると、コア／クラッドの屈折率差や受光器の位置に拘わらず、良好に認識することができる。このとき、受光部の検出閾値を調整することで、様々なコア外径、コア／クラッド比のプリフォームに対してもこの暗部bの位置が確実に検知され、正確な測定を可能とする。

以下、本発明のコア部非円率の測定方法及び装置について、さらに詳細に説明す

るが、本発明はこれらに限定されず、様々な態様が可能である。

[0024] 先ず、図3に示すように、回転・上下動機構を備えた吊下げ部7に鉛直に装着した光ファイバ母材2を、マッチングオイル8で満たされたセル9を備えたオイルタンク10の中に浸し、光ファイバ母材2に側方から平行光を光照射部11から照射して、透過光の光強度を光検出部12で測定することにより、光ファイバ母材2の径方向の光強度分布が求められる。

[0025] このように、上方が開口しているオイルタンク10の中に光ファイバ母材2を鉛直に浸漬しているため、特許文献1のようにマッチングオイル8が漏洩することはない。さらに、光学測定部がオイルタンク10の上端にあるため、光ファイバ母材2を上下に移動することにより、長手方向の様々な位置を容易に測定することができる。さらに、吊下げ部7で光ファイバ母材2を回転させることにより、周方向の任意の位置で光強度分布を測定することができる。

マッチングオイル8は、光ファイバ母材2のクラッド部の屈折率と略同じ屈折率に調整されている。

[0026] 光学測定部は、図4に示すように、平行光投光型外径測定器を用いることができ、これには、平行光、例えばレーザー光やLED拡散光13を光ファイバ母材2に照射する光照射部11と、マッチングオイル8で満たされた透明なセル9及び光ファイバ母材2を透過した透過光を検出する光検出部12とを備えている。

なお、光検出部12は、透過光の検出閾値の調整が可能であり、これにより、光強度分布のコア外周部に生じる暗部を明瞭に認識することができ、正確なコア径相対値の測定が可能となる。

[0027] セル9は、マッチングオイル8とセル材料間での光の屈折による誤差を防ぐため、クラッド部と屈折率の略等しい材質、好ましくはクラッド部と同じ材質で構成されたものとする。さらに、セル9の外表面は、光の入射面及び出射面が互いに平行で、入射光及び出射光に対して垂直面をなすように構成して、セル9での光の屈折を防ぐ。

なお、マッチングオイル8の屈折率は温度によって変化するため、光学測定部の設置された雰囲気温度及びマッチングオイル8の温度をほぼ一定に調節することで、測定精度をさらに向上することができる。

[0028] 光ファイバ母材2は、セル9の中央に設けられ、マッチングオイル8で満たされた円筒状の穴14の中に納められるが、このような構成とすることにより、光ファイバ母材2のクラッド部とマッチングオイル8との屈折率差によって生じる誤差を小さくすることができる。

セル9の外表面及び円筒状の穴14の内表面を鏡面研磨しておく、測定精度をさらに向上することができる。

[0029] 前記構成の装置を用い、光ファイバ母材の複数の周方向 $\phi$ で光強度分布の暗部を測定してコア径相対値 $D_c(\phi)$ を求めた例を図9に示した。図中、実線は、測定値によるものであり、点線は、フィッティングして得られたものである。

コア部非円率は、コア径相対値の最大値と最小値の差をコア径相対値の平均値で除した場合は0.61%と計算された。点線で示したように、 $D_c(\phi)$ と $\phi$ を、 $D_c(\phi) = A + B \sin 2\phi$ にフィッティングして得られたA及びBを用いて、 $2B/A$ を計算してコア部非円率を求めた場合は、 $A = 4.346$ 、 $B = 0.0106$ より0.49%と計算された。

$D_c(\phi) = A + B \sin 2\phi$ にフィッティングして計算した場合のコア部非円率が小さめになるのは、低次及び高次のsin成分が存在するためであり、低次の成分は測定装置に起因するノイズ的な成分、高次の成分は実際のコア形状を示していると考えられる。

[0030] なお、本発明のコア部非円率の測定装置にプリフォームアナライザを組み込み、セル、上下動機構、回転機構等を共用する構成とすることもできる。

例えば、図7に示すように、プリフォームアナライザ用レーザー光源15及びこの受光器16からなる光学系と、コア部非円率測定用投光器17及びこの受光器18からなる光学系とを直交するように配置したり、図8に示すように、これらの光学系を上下に配置することもできる。このような構成とすることで、ワークのセット等の準備を共通化することができ、測定の効率を向上することができる。

[0031] 以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から

明らかである。

#### 産業上の利用可能性

[0032] 本発明によれば、線引きに供する光ファイバ母材を事前に効率よく、かつ正確に検査することができ、光ファイバの製造管理上極めて有用である。

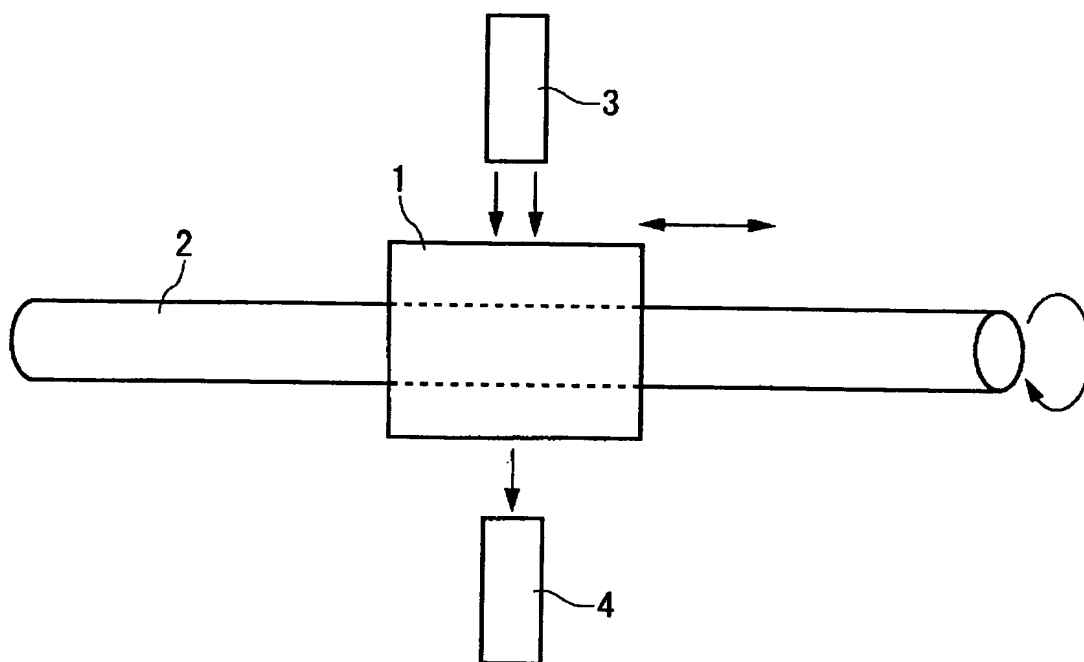
## 請求の範囲

- [1] コア部及びクラッド部を有する光ファイバ母材のコア部非円率を測定する方法であつて、該光ファイバ母材のクラッド部と屈折率が略等しい液体中に光ファイバ母材を浸漬し、該光ファイバ母材の側面から平行光を照射して透過光の強度分布を測定し、コア部を通過した光によって強度分布に生じた暗部の幅を測定してコア径相対値を求め、さらに光ファイバ母材を回転させて周方向の複数点でコア径相対値を求め、得られた複数のコア径相対値に基づいてコア部非円率を求めることを特徴とする光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [2] コア部を通過した光によって生じた暗部の幅を、平行光投光型外径測定器を用いて測定する請求項1に記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [3] 平行光投光型外径測定器が、検出閾値を調整できる請求項2に記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [4] 複数の周方向から測定したコア径相対値の最大値と最小値の差をコア径相対値の平均値で除することにより、コア部非円率を求める請求項1乃至3のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [5] 複数の周方向  $\phi$  から測定したコア径相対値  $D_c(\phi)$  を、
$$D_c(\phi) = A + B \sin 2\phi$$
でフィッティングし、 $2B/A$  をコア部非円率とする請求項1乃至3のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [6] 前記フィッティングが、フーリエ解析または高速フーリエ解析を用いる請求項5に記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [7] コア部非円率の測定が、光ファイバ母材を鉛直に配置して行われる請求項1乃至6のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [8] 液体を収容する容器の少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分が、クラッド部と屈折率が略等しい材質で構成されている請求項1乃至7のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [9] 液体を収容する容器の少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分が、クラッド部と同じ材質で構成されている請求項1乃至8のいずれか

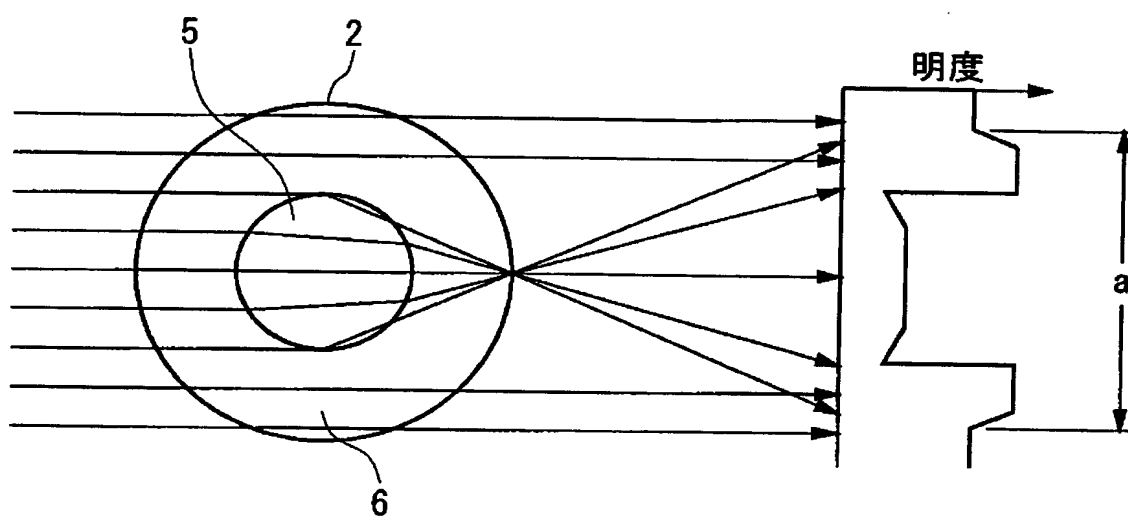
- に記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [10] 液体を収容する容器は、少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分に相対する平行な外表面を有し、該容器の中央に円筒状の穴が設けられている請求項1乃至9のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [11] 相対する平行な外表面及び円筒状の穴の内表面が、鏡面研磨されている請求項10に記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [12] 容器の液体が、一定の温度に調節されている請求項1乃至11のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [13] コア部非円率測定装置の設置された雰囲気の温度が、ほぼ一定に調節されている請求項1乃至12のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定方法。
- [14] コア部及びクラッド部を有する光ファイバ母材のコア部非円率を測定する装置であって、該光ファイバ母材のクラッド部と屈折率が略等しい液体中に光ファイバ母材を浸漬する手段と、該液体中に浸漬された光ファイバ母材の側面に向けて平行光を照射する手段と、光ファイバ母材を透過した透過光の強度分布を測定する手段と、該強度分布においてコア部を通過した光によって生じた暗部の幅を測定してコア径相対値を求める手段と、該コア径相対値を光ファイバ母材の周方向複数点で測定するため光ファイバ母材を回転させる手段とを有し、複数のコア径相対値に基づいてコア部非円率を求めることを特徴とする光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。
- [15] コア径相対値を求める手段が、平行光投光型外径測定器である請求項14に記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。
- [16] 平行光投光型外径測定器が、検出閾値を調整できる請求項15に記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。
- [17] 光ファイバ母材を鉛直に支持する手段を有している請求項14乃至16いずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。
- [18] 液体を収容する容器の少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分が、クラッド部と屈折率が略等しい材質で構成されている請求項14乃至17のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。

- [19] 液体を収容する容器の少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分が、クラッド部と同じ材質で構成されている請求項14乃至17のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。
- [20] 液体を収容する容器は、少なくとも光ファイバ母材に照射される平行光及びその透過光の通る部分に相対する平行な外表面を有し、該容器の中央に円筒状の穴が設けられている請求項14乃至19のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。
- [21] 相対する平行な外表面及び円筒状の穴の内表面が、鏡面研磨されている請求項20に記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。
- [22] プリフォームアナライザを備えている請求項14乃至21のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置
- [23] 各手段の制御及び演算処理を行う制御・演算装置を備えている請求項14乃至22のいずれかに記載の光ファイバ母材のコア部非円率の測定装置。

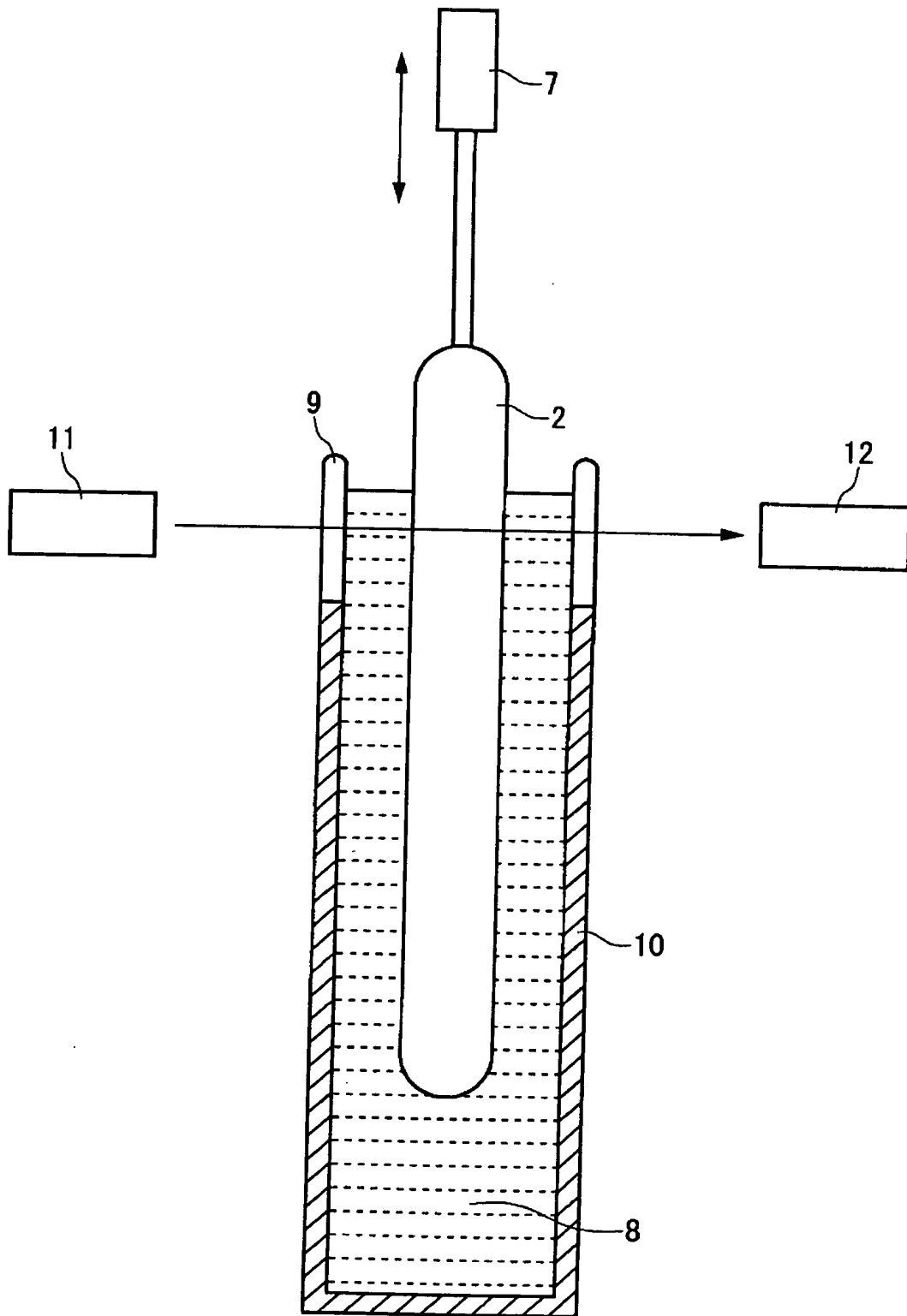
[図1]



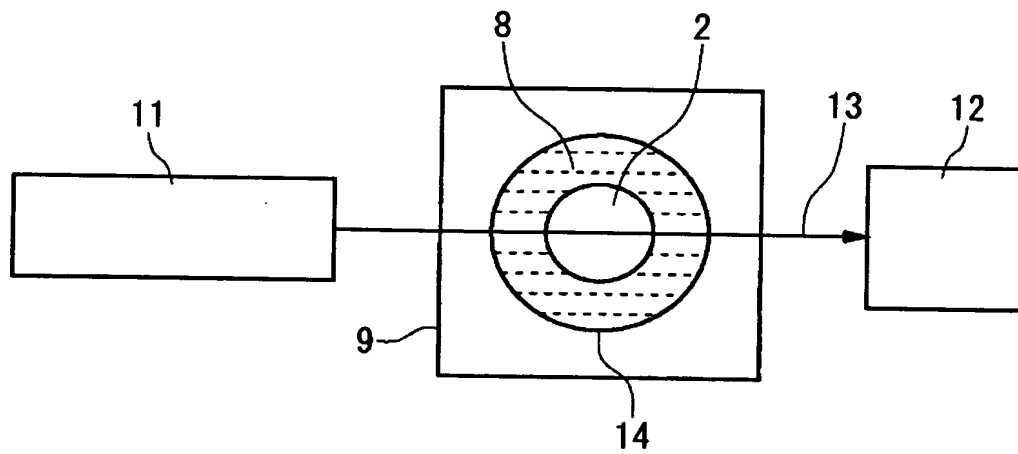
[図2]



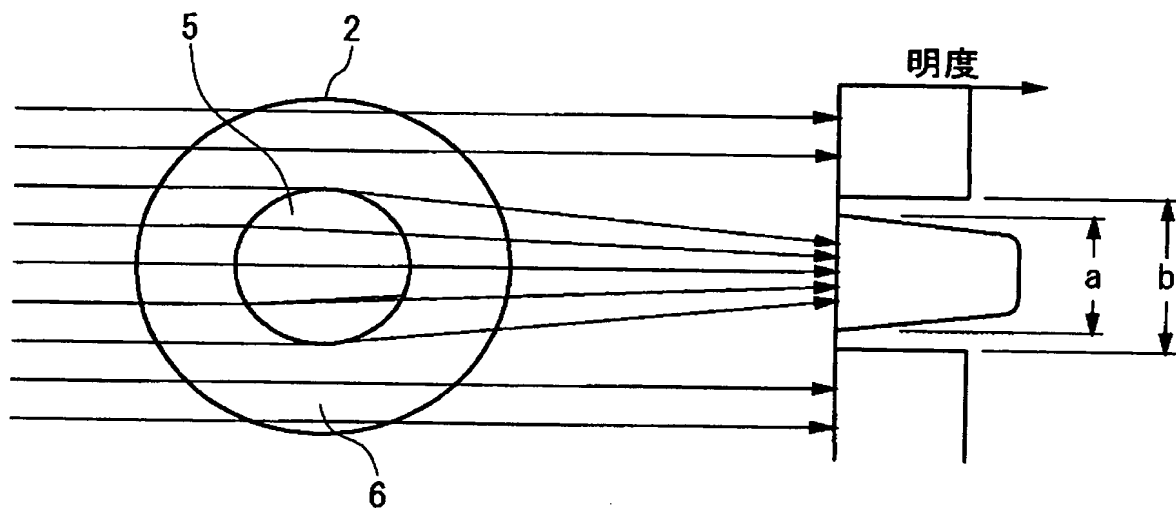
[図3]



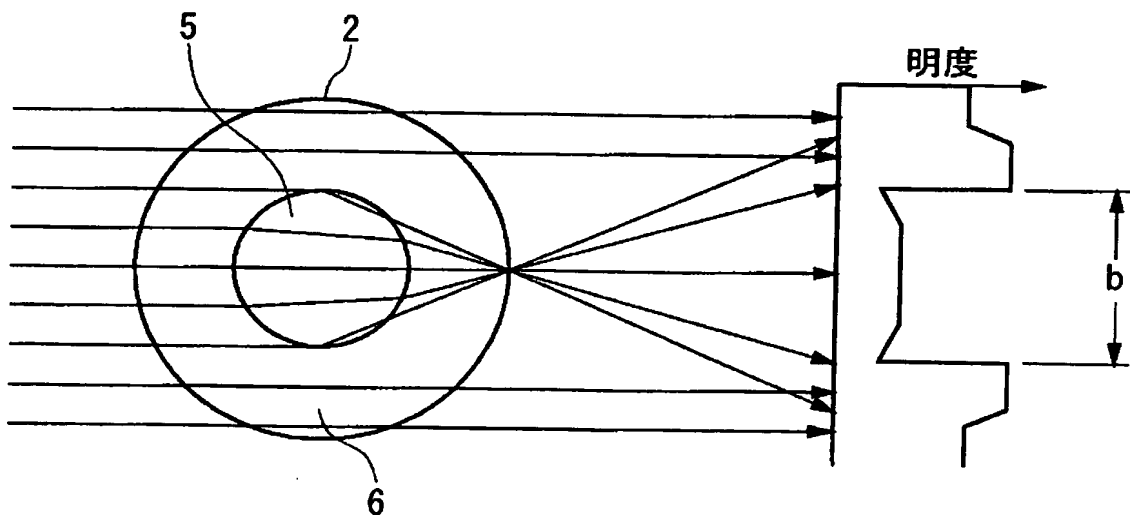
[図4]



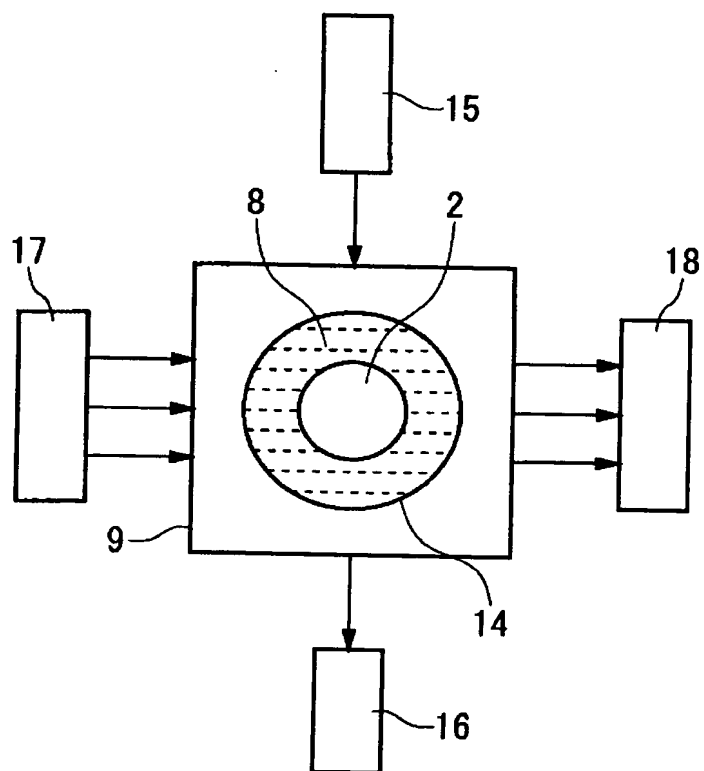
[図5]



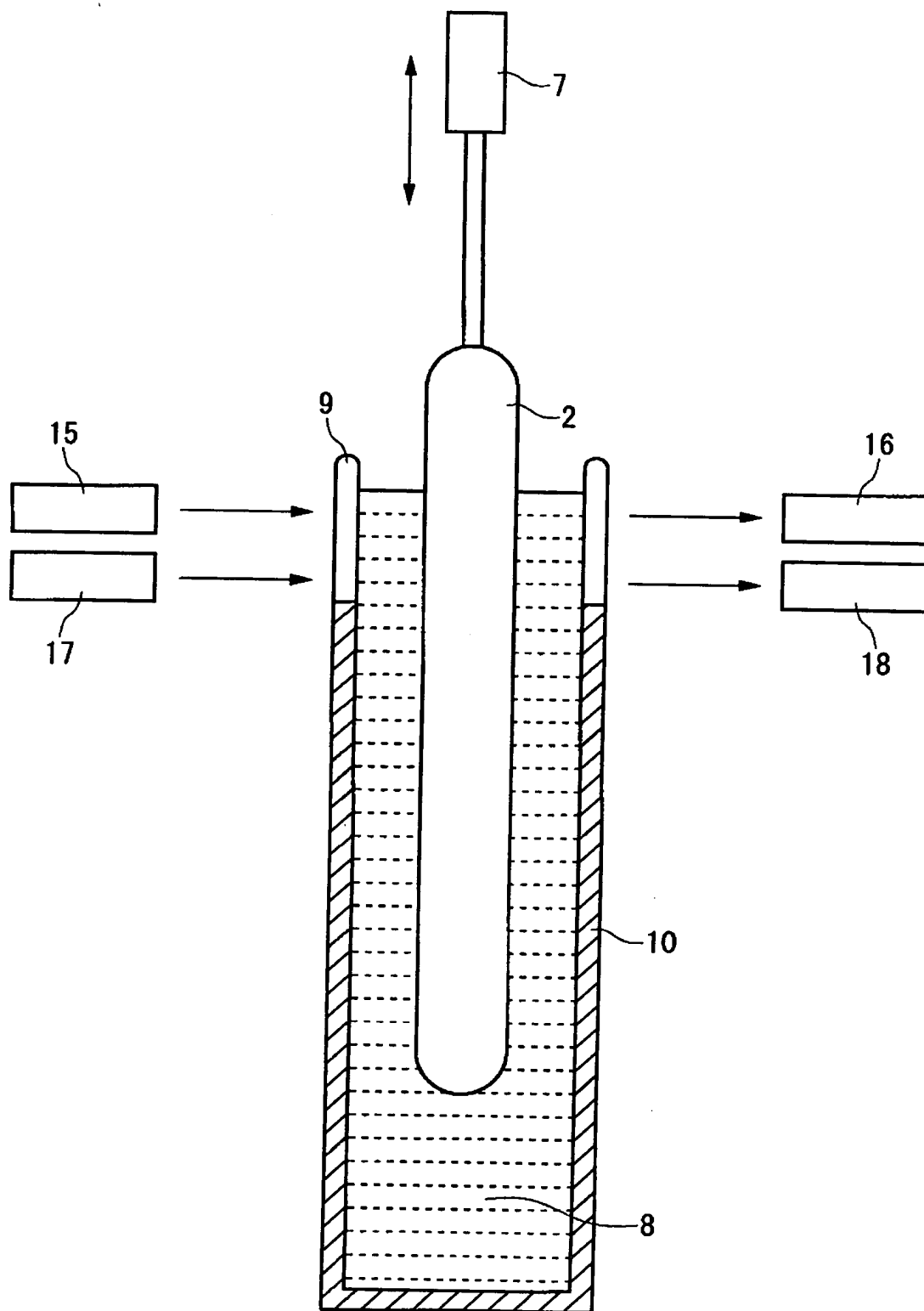
[図6]



[図7]



[図8]



[図9]

